NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Édouard JANNETTAZ,

Assistant de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle,
Maître de Conférences à la Faculté des Sciences,
Ancien Président de la Société géologique de France,
Ancien Président de la Société française de Minéralogie,
Membre élu de la Société minéralogique impériale de Saint-Pétersbourg,
de la Société des Curieux de la Nature de Moscou,
de l'Académie de New-York, de l'Académie de Philadelphie, etc.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1892

2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

ÉTAT DE SERVICES DE M. JANNETTAZ.

I. — SERVICES RENDUS AU MUSÉUM.

Aide-naturaliste de Minéralogie depuis 1859; assistant de Minéralogie depuis le 1er janvier 1890.

Pendant ces trente-trois années de fonctions, M. Jannettaz a consacré à la collection de Minéralogie de nombreux travaux, qui n'ont pas été publiés (analyses chimiques, mesures d'angles, observations optiques). Ces travaux étaient nécessaires au placement d'échantillons dont la détermination était encore incertaine.

Il a pu obtenir à plusieurs reprises pour la collection des cadeaux importants au point de vue scientifique, ou à celui de leur valeur intrinsèque.

Il a suppléé M. Delafosse dans son cours en 1873, 1874 et 1875.

Il a suppléé M. Des Cloizeaux pendant l'année 1890.

II. — SERVICES RENDUS A L'ENSEIGNEMENT EN DEHORS DU MUSÉUM.

Nommé répétiteur à l'École pratique des Hautes Études et directeur-adjoint du laboratoire d'enseignement de Minéralogie à la Faculté des Sciences en 1875; maître de Conférences à la Faculté des Sciences en 1878.

Professeur de Minéralogie et de Géologie à l'École spéciale d'Architecture.

III. — SERVICES EXTRAUNIVERSITAIRES.

Secrétaire de la réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Saint-Gaudens, en 1862.

Secrétaire général du Congrès géologique international en 1878.

Membre de la Commission d'expertise des diamants de la Couronne en 1882, ce qui lui a permis de contribuer à obtenir du Gouvernement une collection de pierres précieuses d'une grande valeur pour le Muséum.

Membre de la Commission nommée en 1886 à l'effet d'examiner les mesures à prendre pour assurer la conservation des pierres de la Couronne réservées au musée du Louvre.

Membre de la Commission d'admission à l'Exposition universelle de 1889.

IV. — GRADES UNIVERSITAIRES.

Docteur ès Sciences physiques. Licencié ès Sciences naturelles.

V. — TITRES HONORIFIQUES.

Nommé Chevalier de la Légion d'honneur, pour services exceptionnels en qualité de maître de conférences à la Faculté des Sciences.

Officier de l'Instruction publique.

Président de la Société géologique de France, en 1875.

Président de la Société française de Minéralogie, en 1887.

Membre élu de la Société minéralogique impériale de Saint-Pétersbourg et de la Société des Curieux de la Nature de Moscou.

Membre élu de l'Académie des Sciences de New-York et de l'Académie des Sciences naturelles de Philadelphie.

Membre de la Société chimique de Paris, de la Société française de Physique, etc.

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. JANNETTAZ.

Je commencerai le résumé de mes recherches minéralogiques par l'exposé d'une série de travaux ayant pour but d'établir : 1° les relations qui existent, dans les cristaux, entre leur structure et plusieurs des phénomènes physiques qui s'y produisent (conductibilité calorifique, clivages, cohésion et élasticité sonore); 2° les relations analogues dans les roches, où l'étude de la schistosité et du longrain permet d'éclairer certains points de la Géogénie.

Ces relations entre des sujets d'ordre un peu différent exigeront, pour être comprises, quelques détails que j'abrégerai autant que possible.

J'exposerai plus brièvement mes études optiques et chimiques sur les espèces minérales.

PREMIÈRE PARTIE.

RECHERCHES SUR LA PROPAGATION DE LA CHALEUR DANS LES SUBSTANCES A STRUCTURE CRISTALLINE OU SCHISTEUSE.

Applications : 1° à la connaissance de la structure des corps cristallisés; 2° à l'étude du métamorphisme dans les roches et à celle des mouvements du sol.

CHAPITRE I.

BUT DE CES RECHERCHES. LEURS RÉSULTATS PRINCIPAUX.

Les difficultés que présentaient, dans les minéraux et les roches, la production et la mesure des courbes isothermes, ont longtemps empêché d'accorder aux phénomènes de conductibilité calorifique l'importance qu'ils ont : 1° pour la détermination pratique des espèces minérales; 2° pour l'étude théorique des propriétés physiques des corps cristallisés.

J'ai cherché à réaliser ce double but en perfectionnant les procédés destinés à fournir une source de chaleur et en imaginant un appareil permettant d'exécuter sur tous les corps, quel que soit le système auquel ils appartiennent, une mesure précise des conductibilités relatives.

On connaît le procédé de Senarmont, qui consistait à percer d'un trou les plaques soumises à l'étude et, après les avoir enduites de cire, à faire passer par le trou une tige dont on chauffait une extrémité. La chaleur détermine la fusion de la matière grasse, et celle-ci, après son refroidissement, dessine des bourrelets qui ont la forme d'ellipses ou de cercles qu'on peut appeler *isothermes*, puisque tous leurs points sont à la même température.

Mais percer les plaques nécessite des précautions très nombreuses et délicates; il est nécessaire, en effet, que le trou soit rigoureusement normal aux deux faces de la plaque. De plus, le procédé est inapplicable à des échantillons peu volumineux ou fragiles.

Aussi, Senarmont n'a-t-il pu examiner que quelques minéraux. Ce petit nombre d'espèces lui a suffi pour établir ce fait fondamental que la chaleur se conforme, comme la lumière, à la symétrie générale d'un cristal, c'est-à-dire qu'il y a coïncidence entre les lignes de symétrie cristalline et les directions des lignes principales de conductibilité.

Mais, parmi les corps qu'il a examinés, étaient le calcaire et le feldspath, qui ont des propriétés très particulières, de sorte que le célèbre minéralogiste a regardé comme fortuit un ensemble de relations entre la conductibilité et les clivages, relations qui, au contraire, constituent de véritables lois. Sur plus de cent vingt espèces que j'ai examinées, je n'ai pas rencontré dix exceptions, dont la plupart peuvent déjà recevoir une explication plausible.

Les plus importantes de ces lois sont les suivantes :

1° *Lorsqu'un cristal possède un plan de clivage et un seul, c'est sur ce plan qu'est la direction de conductibilité maxima.*

Cet énoncé montre qu'on ne peut pas prévoir la direction de la conductibilité maxima; on peut, au contraire, indiquer à l'avance la direction de la conductibilité minima :

« La direction de conductibilité minima est normale au plan unique de clivage. »

2° *Lorsqu'un cristal possède plusieurs plans de clivage, si l'on détermine la* résultante de ces clivages, *d'une façon analogue à celle qu'on emploie pour composer des forces, la résultante des clivages est celle de conductibilité maxima.*

Mais que se passe-t-il dans les substances qui ne présentent pas de clivages? On peut remarquer d'abord que c'est là un cas très rare pour les minéraux; dans presque tous on a, depuis longtemps, reconnu des clivages. Ainsi, dans les systèmes quadratique et hexagonaux où j'ai examiné tous les minéraux dont les dimensions étaient suffisantes (une dizaine seulement ne s'est pas prêtée à l'essai), sur soixante et

onze substances, six seulement ne présentaient pas de clivages bien définis. Ces six cristaux ne font d'ailleurs que confirmer la loi précédente; s'il n'y a pas de clivage, il n'y a pas de raison pour que la courbe isotherme soit une ellipse; et, en effet, j'ai constaté que les courbes étaient sensiblement circulaires.

Une autre vérification de la même loi a été fournie par une dizaine de cristaux artificiels, tels que platinocyanure de magnésium, phosphates et arséniates d'ammoniaque, où, après avoir obtenu comme courbes isothermes des ellipses, j'ai pu mettre en évidence des clivages qui n'avaient pas encore été signalés.

La loi précédente est un résultat expérimental indéniable aujourd'hui. J'ai cherché à établir une relation plus générale, et l'on verra plus loin à la suite de quelles considérations et de quelles expériences j'ai pu donner l'énoncé suivant, qui s'applique non seulement aux cristaux, mais à tous les corps dont la structure reste homogène dans une même direction : *Les directions de plus grande conductibilité calorifique sont celles de plus grande cohésion tangentielle, de plus petite cohésion normale (c'est-à-dire de plus facile clivage) et de plus grande élasticité sonore.* Ce sont les *directions de plus grande densité linéaire* [1].

Les phénomènes de propagation de la chaleur ne sont pas seulement intéressants par leurs relations avec les autres propriétés des cristaux; ils constituent par eux-mêmes une méthode qui peut être d'un grand secours pour l'étude des minéraux. C'est ainsi que, pour les substances opaques, les courbes isothermes donnent des indications que ne peuvent fournir les méthodes optiques. On sait quelle est l'importance considérable de ces dernières dans la détermination des espèces minérales; elles ont permis, en particulier, à Brewster et à M. Des Cloizeaux d'établir que beaucoup de substances qui appartiennent géométriquement à un système d'un degré élevé de symétrie doivent être reportées à un système de symétrie moindre à cause de la position de leurs axes d'élasticité optique. Les méthodes de conductibilité thermique n'avaient pu jusqu'ici donner de résultats semblables, par suite

(1) L'expression *densité linéaire* se comprend d'elle-même, en se reportant à la théorie de Bravais, qui avait déjà considéré la densité réticulaire et la densité d'une rangée. La densité linéaire varie en sens inverse du paramètre cristallographique.

de leur défaut de sensibilité; mais l'appareil décrit plus loin sous le nom d'*ellipsomètre* permet d'étudier avec précision les cas limites présentés par les substances cristallisées.

CHAPITRE II.

APPAREILS.

SOURCE DE CHALEUR.

Pour éviter le forage des plaques, dont j'ai rappelé déjà les multiples inconvénients, je les ai chauffées à la surface, au moyen d'une petite sphère ou d'un petit cône de platine échauffés eux-mêmes par un courant électrique. Cet appareil est analogue au galvanocautère si répandu depuis quelques années; mais je ferai remarquer que je l'ai imaginé dès le début de mes recherches, en 1868.

Le mode opératoire et les divers perfectionnements apportés à l'appareil, tels que systèmes d'écrans empêchant le rayonnement, etc., n'ont pas besoin d'être décrits ici. Je dirai seulement que j'ai pu opérer sur des faces n'ayant pas 3^{mm} de côté.

ELLIPSOMÈTRE.

Le cathétomètre avec lequel Senarmont mesurait les axes des ellipses isothermes permettait d'atteindre une grande exactitude; mais la position des axes n'était déterminée qu'au juger et il fallait mesurer une série de diamètres voisins pour être certain que la ligne considérée pouvait réellement être regardée comme un axe.

Ce procédé est presque impraticable quand les courbes ont des ellipticités très faibles, inappréciables à l'œil, ou que le cristal est d'un système oblique, de sorte qu'aucune ligne ne permet de prévoir dans quelle direction il faut chercher le petit ou le grand axe.

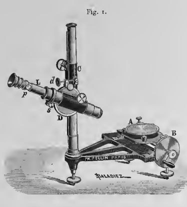
Pour être complet, un appareil de mesure devait donc, non seulement, permettre de déterminer facilement et avec toute la rigueur voulue les dimensions des diamètres de la courbe isotherme, mais encore

indiquer lui-même, par une méthode indépendante des mesures, la position des axes de l'ellipse.

C'est ce que j'ai réalisé dans l'*ellipsomètre*. Ayant apporté à l'appareil que j'avais fait construire autrefois une modification toute récente, je crois devoir la faire connaître dans cette Notice.

L'ellipsomètre se compose (*fig.* 1) d'une lunette L mobile autour

Fig. 1.



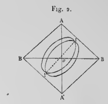
d'un axe horizontal. Cette lunette est munie : 1° d'un prisme biréfringent dont la section principale est située dans le plan vertical qui passe par l'axe de la lunette; 2° d'un réticule composé de deux fils rectangulaires dont l'un est dans le plan de la section principale et dont l'autre est horizontal.

Un cercle divisé A sert à supporter la courbe à examiner; ce cercle peut tourner autour d'un axe vertical; il est porté par un chariot mobile sur une vis micrométrique dont les mouvements sont mesurés au moyen d'un cercle divisé B muni d'un vernier et qui permet d'atteindre le millième de millimètre.

La courbe à étudier étant posée sur le cercle A, quand on la regarde à travers la lunette, on en voit, grâce à la biréfringence du spath, deux

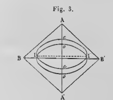
images; le prisme étant à dédoublement variable, il est facile d'amener les images à se couper (*fig.* 2).

Fig. 2.



Si l'on fait tourner la courbe dans son plan horizontal, il arrive un moment où la droite d'intersection II' devient parallèle au fil horizontal du réticule, et où, par suite, l'un des axes de la courbe est également parallèle à cette direction (*fig.* 3); de sorte que, en déplaçant la courbe

Fig. 3.



parallèlement à cette direction, il suffit de mesurer le déplacement nécessaire pour que le fil vertical du réticule soit successivement dans les plans verticaux tangents aux deux images pour avoir la longueur de l'axe de l'ellipse (le grand sur la figure); en tournant de 90°, on mesure de même le petit axe.

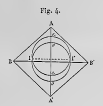
On est certain que la droite II' est exactement parallèle au fil horizontal du réticule, car on peut amener ces deux lignes en coïncidence. Ce résultat s'obtient en faisant tourner la lunette autour de son axe horizontal par un mouvement lent de rotation que commande la vis *d*. Il y a un autre mouvement de rotation, rapide celui-là, et pouvant être produit à la main, qui sert à mettre la lunette dans la po-

sition où la courbe examinée est vue avec la plus grande netteté; il est, en effet, difficile d'apercevoir les courbes en les regardant normalement, tandis qu'on discerne très bien leurs contours en se plaçant sous une incidence oblique.

Les axes ainsi déterminés et mesurés, il faut encore fixer leur position sur la plaque, c'est-à-dire connaître l'angle qu'ils font avec des lignes remarquables de la plaque prises comme points de repère (le plus souvent des arêtes). Il suffit d'amener devant le fil horizontal du réticule successivement l'axe de la courbe et la ligne de repère et de mesurer l'angle dont il a fallu faire tourner le cercle divisé A; et de la sorte on n'a pas besoin de centrer la plaque.

Si la courbe, au lieu d'être elliptique est circulaire, la direction de

Fig. 4.



la ligne d'intersection II' demeure toujours la même (*fig.* 4). C'est là ce qui permet de reconnaître l'ellipticité, même dans le cas où elle est très faible.

CHAPITRE III.

DE LA PROPAGATION DE LA CHALEUR DANS LES CORPS CRISTALLISÉS.

Grâce aux appareils précédents, j'ai pu étendre beaucoup le champ de mes recherches; aussi ne me suis-je pas borné à l'étude des corps cristallisés, mais ai-je entrepris celle des substances dont la texture reste homogène dans une même direction. Telles sont les roches et les matières à texture schisteuse. Je me suis ainsi trouvé engagé dans deux voies différentes, parallèles néanmoins, de façon que les observations

faites dans l'une complétaient ou élucidaient celles que fournissait l'autre.

Pour la clarté de l'exposition, je séparerai ces deux sujets; j'en montrerai ensuite les liens naturels. Ils peuvent s'intituler, le premier : *De la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés:* il a été ouvert par Senarmont; l'autre : *De la propagation de la chaleur dans les corps à structure régulièrement hétérogène et en particulier dans les roches à structure schisteuse.* Celui-ci n'avait pas de précédent en Géologie. C'est le premier de ces deux sujets que j'étudie dans ce Chapitre.

Je n'avais pas à reprendre les résultats fondamentaux obtenus expérimentalement par Senarmont et vérifiés analytiquement par Duhamel et Lamé, c'est-à-dire l'observation d'une harmonie constante entre les axes des ellipsoïdes thermiques et les axes de symétrie cristalline.

Ce fait acquis, il restait à multiplier les observations et à déterminer les ellipsoïdes isothermes propres aux différentes espèces minérales. De l'ensemble de mes recherches, je vis bientôt se dégager une loi ayant des relations très importantes avec la cohésion. Bravais avait distingué, dans les cristaux, la cohésion normale qui retient côte à côte deux plans réticulaires limitrophes et la cohésion tangentielle qui retient l'un auprès de l'autre les nœuds d'un même plan réticulaire. On peut aussi considérer dans un plan réticulaire des cohésions normales retenant côte à côte deux rangées de molécules parallèles immédiatement voisines, et des cohésions tangentielles retenant l'une derrière l'autre deux molécules d'une même rangée. Bravais admettait que la cohésion tangentielle varie d'une direction à l'autre; j'ai démontré expérimentalement cette variation en produisant dans le gypse ce qu'on peut appeler l'*ellipse de décollement*.

Relations de l'ellipse isotherme et de celle de décollement dans le gypse.

Cherchant un jour à reproduire une courbe isotherme sur le plan de symétrie ou de clivage facile du gypse, en suivant le procédé de Senarmont, pour la comparer à celle que me donnait mon procédé, je perçais un trou dans une lame de gypse, à faces parallèles au plan du clivage facile (g^1), lorsque je vins à exercer une certaine pression sur

la partie que ce forage n'avait pas encore atteinte. La pression écartant celle-ci de la supérieure, il y eut décollement de ces deux parties, entre lesquelles se dessinèrent des courbes colorées, du genre de celles qui constituent les *anneaux colorés de Newton*. On observe souvent des plages colorées d'une manière analogue, mais à contours fort irréguliers, dans des masses de gypse, qui ont reçu des chocs accidentels. Si la cohésion restait la même pour tous les points du plan g^1 dans le gypse, les anneaux colorés dont je viens de parler auraient la forme de cercles. Il n'en est pas ainsi; la courbe est une ellipse dont les axes coïncident comme position et comme grandeur avec ceux de l'ellipse de conductibilité thermique. Or, les lignes principales optiques, isothermes et cristallographiques ne sont reliées par aucune loi connue les unes avec les autres dans le plan de symétrie (g^1) du gypse. Il me paraissait donc remarquable de trouver une si parfaite coïncidence des axes de l'ellipse isotherme obtenue dans ce plan et de ceux de l'ellipse de décollement dont nous venons de parler. Ce n'était évidemment pas une rencontre accidentelle.

La courbe dessinée par les anneaux colorés permet d'observer dans leur ensemble les flexions des différentes lignes du plan g^1 autour d'un même centre, le point sur lequel on exerce un effort. En outre, ces flexions sont modérées par des résistances longitudinales ou, pour mieux dire, par des cohésions tangentielles; il y a donc là une relation fondamentale dans les corps cristallisés entre les cohésions tangentielles et les pouvoirs conducteurs calorifiques pour les différentes directions autour d'un même point.

J'ai pu déterminer des anneaux colorés du même genre par ce même procédé dans le sulfate de baryte; j'y ai observé aussi leur coïncidence avec les courbes de conductibilité thermique.

Orientation de l'ellipse isotherme par rapport aux plans de clivage.

Les clivages dépendant de la cohésion, la conductibilité thermique doit se trouver en relation avec les clivages. Senarmont avait bien remarqué que dans deux ou trois substances il y avait parallélisme du grand axe des courbes isothermes et du plan de clivage le plus facile; mais, comme je l'ai rappelé plus haut, il n'avait opéré que sur un petit

nombre d'espèces minérales, parmi lesquelles se trouvaient justement celles très peu nombreuses où ce parallélisme n'a pas lieu. C'est pourquoi il regardait cette coïncidence comme *fortuite*. En observant la superposition des anneaux colorés produits par décollement et des courbes isothermes, je vis apparaître une loi jusqu'alors inaperçue : *Un clivage plus facile entraîne une plus facile propagation de la chaleur parallèlement à son plan.*

J'ai précisé cette loi en examinant les différents cas que peuvent présenter les cristaux.

Dans les substances qui ne possèdent qu'un seul clivage, il suffit de tracer une ellipse isotherme dans un plan perpendiculaire au clivage : on constate que son petit axe est normal au plan de clivage.

Mais la question est un peu plus complexe dans le cas des cristaux qui possèdent plusieurs clivages : il faut tenir compte de l'action résultante de ceux-ci. Je ferai comprendre, par deux exemples, tirés des systèmes à un axe de principale symétrie, ce que j'appelle *résultantes des clivages;* si un cristal de l'un de ces systèmes se clive uniquement suivant sa base, la résultante des clivages est incontestablement basique; lorsqu'on n'observe, au contraire, que des clivages parallèles à l'axe, la résultante des clivages est *axiale*. Mais il arrive souvent qu'une substance quadratique présente des clivages octaédriques, ou qu'une substance des systèmes hexagonaux se clive suivant les faces d'un dihexaèdre ou d'un rhomboèdre; il suffit alors de comparer entre eux les angles que les faces de ces pyramides font avec la base du prisme et ceux qu'elles font avec l'axe normal à cette base; si l'angle avec l'axe est supérieur à 45°, l'ensemble des clivages est équivalent à un *clivage basique;* si cet angle est inférieur à 45°, la résultante des clivages équivaut à un *clivage axial*.

J'ai observé que *la ligne de conductibilité maxima est parallèle à la résultante des clivages.*

Mes observations ont porté sur plus de cent vingt espèces; les lois énoncées plus haut ont été vérifiées d'une manière très nette dans cent dix; dans la tourmaline, le béryl et la dioptase d'une manière douteuse; enfin deux exceptions ont été présentées par le calcaire et les feldspaths.

Comme l'a démontré M. Fizeau, le calcaire et les feldspaths se con-

tractent sous l'action de la chaleur au lieu de se dilater dans certaines directions; ce sont précisément les directions qui font exception à la règle des conductibilités.

De plus, on n'a pas tenu compte jusqu'ici de la diathermanéité, qui est, il est vrai, bien faible dans les cristaux, mais peut cependant dans certains d'entre eux modifier légèrement la température transmise d'une molécule aux voisines par contact immédiat, bien que les mesures de conductibilité n'aient été jusqu'ici effectuées qu'à de basses températures.

Cette observation s'applique aux tourmalines et au béryl.

Dans les tourmalines, l'ellipse isotherme sur une plaque parallèle à l'axe est aplatie; son grand axe est beaucoup trop grand, si l'on a égard au peu de différence des clivages. Mais, si l'on se reporte aux formules de l'équation de la chaleur dans les plaques homogènes, si heureusement élucidées par M. Boussinesq, on voit que l'équation différentielle contient un terme exprimant la part due au rayonnement des particules ambiantes, situées à une distance finie. Or, d'après Knoblauch, si l'on taille une tourmaline transparente et diathermane en cube, et si l'on fait passer à travers celui-ci une même quantité de chaleur, l'expérience montre que, en prenant égale à 1 la quantité de chaleur sortie d'une face parallèle à l'axe d'isotropie, la quantité de chaleur qui sort d'une face perpendiculaire à cet axe est 1,58. Or, le rayonnement se produit au dedans comme au dehors du cristal et, bien que le rapport des pouvoirs diathermanes dans les différentes directions diminue rapidement, à mesure que la température s'abaisse, la chaleur qu'une particule de tourmaline reçoit par rayonnement de ses voisines s'y ajoute à celle de conductibilité, acquise au contact des particules immédiatement adjacentes; la chaleur rayonnante doit donc ici augmenter quelque peu la longueur des axes de l'ellipse isotherme perpendiculaire à celui du cristal.

D'autres expériences de Knoblauch montrent que l'inverse a lieu dans le béryl; elles tendent aussi à expliquer pourquoi les cristaux de cette substance conduisent mieux la chaleur dans la direction de l'axe d'isotropie que dans les directions normales à cet axe; car la quantité de chaleur que le béryl laisse passer suivant son axe de principale symétrie est plus grande que perpendiculairement à cette direction.

Dans le quartz, les pouvoirs diathermanes suivent le même sens relatif de grandeur que dans le béryl, mais ils y sont bien moins différents les uns des autres; le rapport de la quantité de chaleur rayonnante transmise dans le sens de l'axe à celle qui passe dans les directions équatoriales y est trop faible pour influer sur les rapports des axes des ellipses isothermes; aussi le quartz suit-il nettement la loi générale.

Utilité des ellipses isothermes pour la distinction des vrais et des faux clivages.

Outre les quelques exceptions dont je viens de parler, il restait un obstacle apparent à l'exactitude de cette loi. Un certain nombre de cristaux présentent des plans de séparation facile qui, au premier abord, ont l'air de clivages. Les minéralogistes ont toujours distingué avec soin ces faux clivages des vrais. Ils savent que, les cristaux s'accroissant en lamelles superposées, il y a souvent entre ces lamelles, formées à des époques plus ou moins éloignées les unes des autres, des substances étrangères qui indiquent bien qu'elles ont obéi, en se déposant, plutôt à des influences extérieures qu'à leurs actions mutuelles; on peut souvent les séparer les unes des autres avec facilité, mais ces plans de séparation ne passent plus, comme les vrais clivages, par un point quelconque du cristal. Si théoriquement on conçoit avec netteté cette distinction, il n'est pas toujours facile de la mettre en évidence pratiquement. Les courbes isothermes peuvent résoudre cette difficulté; car autant elles sont sous la dépendance des vrais clivages, autant elles sont indifférentes à la stratification des cristaux, c'est-à-dire à cet accroissement par strates, qui donne lieu à des plans de séparation facile, à ce qu'on peut appeler des *pseudoclivages*.

Orientation caractéristique des axes des ellipses isothermes dans un groupe d'espèces minérales.

On a, depuis Werner, réuni en groupes, à cause de leurs analogies extérieures, des espèces minérales, dont la composition chimique varie

qualitativement et même quantitativement; tels sont les groupes des pyroxènes, des amphiboles, des wernérites, des micas, etc.

Les ellipses isothermes, par leurs orientations et le rapport de leurs axes, permettent immédiatement de rattacher chacune de ces espèces aux groupes auxquelles elles appartiennent.

Relation entre la conductibilité et la structure fibreuse.

Dans les cristaux des systèmes quadratique, hexagonal, orthorhombique, la structure fibreuse, qui prouve une attraction plus grande des molécules parallèlement aux fibres, est aussi en relation avec la plus facile aptitude à la propagation de la chaleur; on constate, en effet, que le plus grand axe de conductibilité thermique est parallèle aux fibres.

Dans les systèmes obliques, peuvent intervenir d'autres influences, mais la direction des fibres est toujours voisine du plus grand axe de conductibilité.

Résumé.

En résumé, ces recherches ont démontré, outre les lois énoncées plus haut relativement aux clivages, que l'orientation relative du grand et du petit axe de l'ellipsoïde isotherme caractérise chaque groupe naturel d'espèces minérales et différencie ces groupes les uns des autres; que la nullité de l'action des faux clivages permet de distinguer ceux-ci des clivages réels; que la structure des cristaux fibreux confirme la relation entre l'ordre de grandeur des conductibilités et des cohésions.

Ces recherches peuvent résoudre aussi certains problèmes importants et délicats relatifs à la structure des cristaux. Les micas, par exemple, ont été et sont encore divisés par les cristallographes en deux grands groupes au point de vue optique : micas à un axe et micas à deux axes optiques. Ces derniers offrent toutes sortes de valeurs pour l'angle de leurs axes, et, par conséquent, une transition insensible vers les micas à un axe. Tous ont les mêmes formes géométriques. Dans tous, j'ai observé les mêmes caractères thermiques;

sur les faces verticales m ou g^1 des ellipses extrêmement aplaties, sur la base p une courbe très sensiblement elliptique, que les axes optiques fassent entre eux un angle de 0° ou de 75°. Les micas sont donc thermiquement orthorhombiques.

Grâce aux perfectionnements apportés à l'ellipsomètre qui permet des mesures très précises et assez rapides, j'ai pu aborder expérimentalement la solution d'un problème encore pendant au sujet des ellipsoïdes des conductibilités linéaires qui, dans les cristaux dissymétriques, ne se confondent pas, ainsi que l'a démontré M. Boussinesq, avec les ellipsoïdes isothermes.

Enfin, en résolvant l'équation des courbes isothermes, j'ai démontré par le calcul, en même temps que M. Moutier, que le procédé de Senarmont peut s'appliquer aussi bien à la recherche des conductibilités relatives de substances différentes qu'à celle des conductibilités relatives des différentes directions d'une même substance.

CHAPITRE IV.

CONNEXIONS ENTRE LA STRUCTURE DES ROCHES ET LEURS SURFACES ISOTHERMES; APPLICATIONS AUX CAUSES QUI ONT PRODUIT CETTE STRUCTURE ET AUX THÉORIES MODERNES SUR L'ORIGINE DE LA SCHISTOSITÉ, DU LONGRAIN ET DES DIACLASES.

Mes observations sur l'orientation de l'ellipsoïde isotherme dans les minéraux m'amenaient à rechercher s'il y avait des connexions du même ordre entre les axes des surfaces isothermes dans les roches et leur structure. On savait que les roches schisteuses, ardoises, schistes argileux doivent leur schistosité à des pressions. Je n'ai pas à retracer ici l'historique de cette découverte; elle est assez récente pour que personne n'ait oublié les expériences qui en ont fait une des plus heureuses conquêtes de la Géologie moderne. Les noms de Sorby, de Tyndall et de M. Daubrée garantissaient la véracité des résultats. Une argile comprimée, d'homogène, devient schisteuse, et, si elle renferme des lamelles de mica, d'oligiste, ou même, comme l'a démontré M. Daubrée, des cylindres de plomb, toutes ces matières se couchent suivant leur plus longue dimension sur le plan de la schistosité. On a objecté à cette théorie l'action inconnue du retrait; bien que cette

dernière opinion ait cessé d'être imprimée depuis un certain nombre d'années, quelques géologues ont continué à dire qu'après tout le retrait donnait lieu à une fissilité, qu'on ne pouvait pas facilement faire la part du retrait et celle de la pression. Mes observations et mes expériences ont donné les résultats suivants :

Action du retrait.

Si l'on produit une courbe isotherme sur la section droite d'un prisme triangulaire, pentagonal, hexagonal de basalte, de trachyte ou de porphyre, on constate que le grand axe de cette courbe est perpendiculaire aux fentes produites par le retrait ; l'action du retrait par refroidissement est donc inverse de celle de la schistosité ; en outre, cette action est bornée à une région très voisine des fentes. Dans le cas où le retrait est dû à la dessiccation, dans celui, par exemple, d'argiles ou de marnes humides abandonnées à l'action desséchante de l'air extérieur, les courbes sont en général circulaires.

Action de la stratification.

La stratification n'a pas non plus d'influence, pas plus que la texture lamellaire, dans les minéraux. Cependant, dans les marnes finement feuilletées, on observe sur la tranche perpendiculaire aux plans des feuillets des ellipses dont le petit axe est parallèle à ce plan. Mais ce feuilletage semble, dans la plupart des cas, provenir de pressions ; dans d'autres cas, il peut tenir à la juxtaposition parallèle d'éléments conduisant mieux la chaleur dans le sens de leur alignement.

Action de la schistosité.

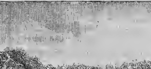
Ce qui ne laisse aucun doute, c'est l'observation d'une courbe isotherme produite sur la surface d'une section obtenue en coupant parallèlement à la pression qui agissait sur elle (c'est-à-dire perpendiculairement à la schistosité développée par cette pression), une masse d'argile comprimée. La courbe isotherme est une ellipse qui a

son grand axe parallèle, et son petit axe perpendiculaire à la schistosité.

Toutes les roches schisteuses sans exception, schistes cristallins, ardoises ou phyllades, schistes argileux, marnes schisteuses, les gneiss eux-mêmes sont soumis à la même loi. Et le rapport du grand axe au petit est considérable; il atteint souvent 2, quelquefois 3.

J'ai fait une série de voyages pour aller recueillir sur place des échantillons de roches schisteuses : phyllades d'Angers et de l'Ardenne; phyllades de Labassère et de Gênos (Pyrénées); schistes carbonifères de Laval (Mayenne) et de Saint-Michel, en Maurienne; schistes triasiques d'Allevard (Isère); schistes liasiques de l'Oisans (Isère), de Saint-Colomban des Villars (Maurienne), de la gorge du Bréda (Isère); schistes nummulitiques de Saint-Julien et Villargondran

Fig. 5.





(Maurienne), etc. La schistosité est, dans un grand nombre de régions, oblique à la stratification, comme l'ont vu depuis longtemps un grand nombre d'observateurs, qui faisaient et qui font encore autorité dans

la Science. J'en ai retrouvé de nombreux exemples; l'un des plus remarquables, en France, est donné par le massif de l'Oisans. J'ai cru devoir le représenter, tel qu'on le voit près du village de la Paute, sur les bords de la Lignarre (*fig.* 5). Les bancs calcaires y sont plusieurs fois contournés. Les stries verticales figurent les traces souvent apparentes de la schistosité sur le plan de cette coupe naturelle.

Du longrain dans les roches.

Un an après la publication de ces résultats, j'eus le bonheur de voir un de mes savants confrères, M. Dufet, les confirmer par ses recherches personnelles. M. Dufet y ajoutait quelques remarques intéressantes; il pensait que la pression devait développer dans les masses comprimées, non seulement une schistosité perpendiculaire à la pression, mais un nombre infini de directions de fissilité parallèles à cette pression. Certaines roches schisteuses possèdent, il est vrai, non pas un très grand nombre, mais plusieurs directions planes de clivage, et j'en ai tenu compte dans un Traité sur la détermination pratique des roches, que j'ai fait paraître quelque temps avant mes travaux sur les relations de ces plans de clivage et des courbes de conductibilité. On savait déjà que les ouvriers profitent d'un plan de séparation facile, à peu près perpendiculaire à la schistosité dans les ardoises, pour débiter ces roches en plaquettes. M. Nivoit, ingénieur en chef des mines, eut la bonté de m'envoyer un fragment d'ardoise de Fumay, où se trouvait marquée cette direction spéciale qui constitue le *longrain*.

En produisant une courbe sur le plan de schistosité, j'obtins une ellipse ayant son grand axe parallèle au longrain. Plus tard, M. de la Houssaye envoyait à M. Daubrée un bloc d'ardoise où il avait aussi indiqué la direction du longrain. Je retrouvai le même résultat que sur l'échantillon de Fumay.

J'ai alors visité un grand nombre d'ardoisières; j'ai constaté que partout les ouvriers, non seulement prennent le plan de schistosité pour plan d'abatage de la roche, mais qu'ils savent aussi reconnaître, par habitude, une seconde direction de division facile, souvent invisible et à peu près perpendiculaire à la schistosité; ils en profitent, en effet, pour diviser en bandes les plaques obtenues par l'abatage; ils appel-

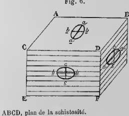
lent la trace de ce plan sur celui de schistosité, les uns, le longrain, le long; les autres, le fil.

Le longrain passe par un point quelconque de la roche, comme le clivage proprement dit dans les minéraux, comme la vraie schistosité dans les roches. Comme la vraie schistosité, il garde une direction constante sur une grande étendue; comme elle enfin, il peut être trouvé facilement à l'aide des courbes isothermes, car j'ai établi que :

Le grand axe des courbes isothermes qu'on peut former sur le plan de schistosité est toujours parallèle au longrain.

En sorte que, dans un certain nombre de roches, comme dans les cristaux du système orthorhombique, la surface isotherme est un ellipsoïde dont les trois sections principales sont : 1° le plan de schistosité contenant le grand axe parallèle au longrain et l'axe moyen perpendiculaire au précédent; 2° le plan perpendiculaire à la schistosité passant par le longrain, contenant le grand axe et le petit, celui-ci perpendiculaire à la schistosité; 3° le plan perpendiculaire à la schistosité en même temps qu'au longrain, et contenant le moyen et le petit axe de l'ellipsoïde.

Fig. 6.



ABCD, plan de la schistosité.
BDF, plan du longrain.
CDEF, plan perpendiculaire aux deux précédents.

Le plan du longrain n'est pas toujours, il est vrai, exactement perpendiculaire à la schistosité et l'ellipsoïde thermique devient alors une surface un peu irrégulière.

Des diaclases.

Outre le longrain il existe, sur le plan de schistosité, des fentes que M. Daubrée a appelées *diaclases*, dont il a expliqué le mode de formation et qu'il a reproduites artificiellement sur des morceaux de verre en les tordant. Sur ces morceaux de verre j'ai obtenu des courbes d'une excentricité faible, il est vrai, mais mesurable, et dont les grands axes étaient parallèles aux fentes dans leur voisinage. Ces fentes diffèrent du longrain en ce qu'elles sont distantes les unes des autres. Cependant il semble y avoir des relations entre les diaclases et le longrain. Il semble, en effet, que les diaclases prédisposent les roches à se casser suivant leur résultante, qui a la même direction que le longrain. Il y a donc une certaine analogie entre les résultantes des clivages des minéraux et les résultantes des diaclases des roches; il y a cette différence cependant que les grands systèmes de cassures de roches appelés *diaclases* paraissent localisés aux points qui les présentent, tandis que le longrain passe par un point quelconque de la roche; dans les minéraux, les clivages passent de la même façon par un point quelconque du cristal.

Reproduction du longrain en même temps que de la schistosité.

J'ai pu reproduire artificiellement dans des matières plastiques à la fois la schistosité et le longrain.

J'ai comprimé de la terre glaise d'Issy dans une boîte ouverte d'un côté par où pouvait s'écouler la matière comprimée au moyen d'un piston. La compression était produite à l'aide de puissantes machines d'essais que la Compagnie des Chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée avait eu l'obligeance de mettre à ma disposition.

Les ellipses isothermes que j'ai obtenues sur les blocs ainsi comprimés m'ont montré que ces masses sont schisteuses parallèlement à la surface du piston et qu'elles ont acquis sur le plan de la schistosité un longrain parallèle à l'écoulement.

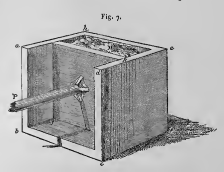
Les grands axes des courbes produites sur le plan de la schistosité et

sur une section perpendiculaire permettent de reconnaître la direction de la pression et celle de l'écoulement.

Le plan de schistosité est normal à la direction de la pression et le longrain parallèle à la direction de l'écoulement.

Le dessin montre que l'argile, en débordant au dehors de la boite, a formé un ruban enroulé en spirale; dans d'autres expériences, j'ai vu cette forme se modifier : le ruban s'est plissé en zigzags. Dans la nature, on voit quelquefois des couches se superposer à d'autres plus récentes, en se contournant avec des formes analogues.

Fig. 7.



La *fig.* 7 montre un bloc d'argile dans sa boite avant l'expérience.

La *fig.* 8 représente la position des courbes isothermes sur le plat et sur la tranche du bloc d'argile comprimé et extravasé.

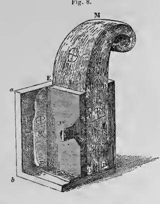
Résumé.

On a vu dans ce qui précède comment, au moyen des couches isothermes, j'ai pu mettre en évidence dans un grand nombre de roches métamorphiques, schistes cristallins, ardoises, schistes argileux, l'existence de deux directions planes de séparation facile, qu'on peut appeler *clivages;* le *principal* est la *schistosité* ordinairement apparente dans les roches; l'autre clivage, qu'on peut regarder comme *secondaire,*

à cause de sa moins grande netteté, est le *longrain* ordinairement invisible.

Les roches douées de ces deux clivages possèdent donc une sorte de structure pseudo-régulière, pseudo-cristalline, produite par les plissements, les pressions, les torsions qui les ont tourmentées.

Fig. 8.



Je ne crois pas qu'on puisse regarder l'ensemble de ces faits comme une réunion de particularités curieuses, mais sans application immédiate. En effet, leurs connexions avec les mouvements du sol permettent d'analyser et de comprendre ces mouvements; elles donnent une incontestable vérification aux conclusions que Sorby, Tyndall, M. Daubrée ont tirées de leurs expériences devenues classiques.

Influence des variations de conductibilité sur l'accroissement de température intérieure du globe.

Une autre application à la Géologie de l'étude de la conductibilité de la chaleur est son influence sur l'accroissement de température intérieure du globe. J'ai fait remarquer que les variations de la conducti-

bilité de la chaleur suivant la direction où on l'observe dans les roches doivent être prises en grande considération lorsqu'on étudie la propagation du sol pour la chaleur; qu'on ne peut conclure, par exemple, d'un accroissement plus rapide avec la profondeur dans une région, à une épaisseur moindre de la partie solidifiée du globe terrestre, sans avoir mesuré le pouvoir conducteur propre des roches, ou mieux, leur pouvoir conducteur dans la direction verticale, si tant est qu'on puisse connaître jusqu'à d'assez grandes profondeurs, et les roches qui composent le sol de la région où se font les mesures, et les inclinaisons de leurs plans de clivage, lorsqu'elles sont schisteuses.

MM. Herschel et Lebour, qui ont été chargés par l'Association britannique pour l'avancement des Sciences de faire des expériences sur ce sujet, ont reconnu dès le commencement de leurs recherches la part qu'ils auraient à faire aux miennes et leurs résultats sont ensuite venus confirmer les miens, en ce qui concerne les roches schisteuses.

CHAPITRE V.

RELATIONS ENTRE LA PROPAGATION DE LA CHALEUR, LA COHÉSION, LA DENSITÉ LINÉAIRE ET L'ÉLASTICITÉ.

Relation avec la cohésion et la densité linaire.

Bravais a posé comme une hypothèse dont il s'est attaché à faire voir la vraisemblance dans ses *Études cristallographiques*, et que personne n'a contestée, que : « La cohésion tangentielle à un plan est d'autant plus grande que le réseau du plan est plus dense, et que la cohésion normale est d'autant plus faible que l'écartement des deux plans limitrophes est plus considérable »; ce dernier cas est celui des plans de clivage.

Cette hypothèse nous permet de transformer l'énoncé relatif au parallélisme des plans de clivage et de ceux de plus facile propagation de la chaleur de la manière suivante : *Les plans de plus grande conductibilité thermique sont ceux de plus grande densité réticulaire.*

Dans les cristaux où il y a des plans de clivage multiples, on peut composer ces derniers pour obtenir leur résultante, et, employant le

terme de densité linéaire défini plus haut, on est amené à penser que : *La direction résultante de plus grande conductibilité thermique est celle de plus grande densité linéaire, c'est-à-dire du plus petit paramètre cristallographique.*

Relation avec l'élasticité.

On a vu que l'ellipse de décollement coïncide avec l'ellipse thermique. Ce décollement des lamelles de gypse est un phénomène de flexion ; à un même effort exercé en un point et produisant une même flèche, correspondent des rayons vecteurs inégaux ; les axes de cette ellipse semblent donc être ceux de la section parallèle faite dans l'ellipsoïde d'élasticité, dans ce cas particulier de flexion.

Il était intéressant de voir jusqu'à quel point les axes de conductibilité thermique correspondent à ceux d'élasticité.

L'étude de l'élasticité dans les cristaux anisotropes est des plus difficiles et des plus délicates.

Élasticité sonore.

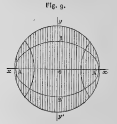
Savart a le premier abordé cette étude au moyen des lignes nodales dessinées par de la poudre légère sur des disques de différentes directions ébranlés au moyen d'un archet.

Sur un disque circulaire de faible épaisseur, dont les faces étaient parallèles à un plan de symétrie et qu'il taillait dans la matière soumise à l'observation, il obtenait, soit des hyperboles, soit des lignes diamétrales rectangulaires, suivant le point du contour qu'il ébranlait en fixant le centre du disque ; il obtenait des ellipses ou des courbes du quatrième degré, toujours fermées, lorsque, fixant des points particuliers de la circonférence du disque, il en ébranlait le centre.

Lorsqu'on fait l'expérience sur un disque contenant dans son plan les axes de plus grande et de plus petite élasticité, tel qu'un disque de bois à faces parallèles aux fibres, un disque de cuivre strié, un disque de quartz à faces parallèles à l'axe de principale symétrie, et que, fixant le centre du disque, on ébranle, au moyen d'un archet, les deux extré-

mités AA′ situées sur une droite perpendiculaire, soit aux fibres du bois, soit aux stries du disque de cuivre, soit à l'axe du quartz, on obtient, comme lignes nodales dessinées par de la poudre qu'on projette sur le disque, deux branches d'hyperboles, dont l'axe réel est parallèle à la ligne ébranlée AA′ et dont l'axe imaginaire BB′ est parallèle à la

Fig. 9.



ligne de plus grande élasticité. Si l'on fait la même expérience sur les mêmes disques en ébranlant deux extrémités d'un diamètre situé à 45° de la direction précédente, on obtient deux lignes rectangulaires xx' et yy', parallèles à la ligne de plus petite et à la ligne de plus grande élasticité.

Enfin, si, fixant les deux extrémités A, A′ de la ligne de plus petite élasticité, on ébranle le disque par le centre, on voit la ligne nodale prendre la forme d'une courbe fermée, elliptique ou voisine d'une ellipse, *dont le petit axe* BB′ *est parallèle à la direction de plus grande élasticité.*

J'ai répété ces expériences; j'ai toujours vérifié les résultats de Savart dans les cristaux où la base est parallèle à la section droite des parallélépipèdes que nous prenons en France comme formes primitives. Les hyperboles indiquent bien, par leur axe imaginaire, les ellipses, par leur petit axe, la direction de plus grande résistance à la flexion ou de plus grande élasticité sonore.

En outre, j'ai constaté un autre caractère propre aux axes d'élasticité; c'est que si, *après avoir fixé le disque par deux points extrêmes situés sur l'axe de plus grande élasticité, on le fixe par deux points situés*

sur la direction perpendiculaire, le son s'élève. Ce fait résulte d'un très grand nombre d'observations où, au fur et à mesure que je produisais les sons, ils étaient notés par MM. Burckardt et Marqua, constructeurs de pianos.

J'ai poursuivi cette étude d'une manière complète dans le gypse.

Angström avait déjà constaté qu'en ébranlant le contour d'un disque circulaire de gypse taillé parallèlement au clivage facile, la ligne nodale est une courbe du quatrième degré dont la forme est très voisine de celle d'une ellipse; son petit axe qui est, comme il a été dit plus haut, celui de plus grande élasticité, est à 53°40′ du clivage fibreux et à environ 130° du clivage vitreux. Cette direction n'est éloignée du grand axe de conductibilité thermique que d'environ 4°. Angström avait d'ailleurs entrevu ce rapprochement des deux sortes d'axes.

J'ai pensé que cette faible divergence devait tenir à l'influence de la forme des disques. Il est, en effet, évident que, dans un cristal à axes inégaux, l'inégalité des axes exclut la forme circulaire du contour. J'ai découpé dans des lames de gypse parallèles au plan de symétrie des plaques de forme elliptique; en faisant varier les rapports des axes de ces ellipses, j'ai vu que les courbes nodales deviennent plus régulières et que les hyperboles se réduisent à deux droites parallèles aux axes de l'ellipse isotherme, lorsque le rapport du grand axe au petit axe de la plaque est égal à 1,45, qui est le carré de 1,247, nombre qui est le rapport des axes de l'ellipse isotherme.

Élasticité de flexion.

Une autre méthode expérimentale permettant d'étudier l'élasticité dans le gypse est celle de la flexion.

J'ai encastré à un bout des lames rectangulaires, longues de 3^{cm} à 4^{cm}, larges d'environ 1^{cm}, épaisses de $0^{mm},5$, découpées dans des feuillets de gypse de Montmartre, parallèles au clivage facile. A leur extrémité libre était suspendu un petit panier très léger destiné à contenir des poids, qui variaient de 5^{gr} à 25^{gr}; au delà de cette charge, la limite d'élasticité était dépassée; jusque-là, la flèche était sensiblement proportionnelle à la charge. En donnant aux grandes longueurs des lames deux directions différentes, celle du plus grand et celle du plus petit

axe des conductibilités thermiques, dont le rapport est 1,247, j'ai trouvé pour rapport des coefficients d'élasticité 1,939, le plus grand coefficient se rapportant au grand axe thermique dans le cas d'un même effort correspondant à une même flèche. On peut remarquer que 1,939 est le cube de 1,247. Cela voudrait donc dire que les coefficients d'élasticité seraient proportionnels aux cubes des axes des courbes isothermes, comme ils le sont d'ailleurs aux cubes des longueurs des lames infléchies.

M. Coromilas, après moi, a repris cette recherche par un procédé analogue, qu'il a cherché à rendre plus précis. Il a calculé la direction du maximum d'élasticité sur le plan de symétrie du gypse; il lui trouve la même position qu'Angström, c'est-à-dire à 3° ou 4° de celui des ellipses isothermes; nous sommes donc à très peu près d'accord sur ce point; où M. Coromilas et moi différons davantage, c'est sur le rapport des coefficients d'élasticité, que M. Coromilas trouve égal à 2,88, tandis que je ne suis arrivé qu'à 1,939. Il est vrai que M. Coromilas a fait ses expériences sur le gypse d'Aschersleben, tandis que les miennes ont été effectuées sur le gypse de Montmartre.

Quoi qu'il en soit du rapport de leurs longueurs, on peut dire que, dans le gypse, les axes d'élasticité coïncident à très peu près, comme directions, avec ceux de l'ellipse isotherme et de l'ellipse de décollement.

Quant au mica, M. Coromilas et moi nous sommes d'accord.

CHAPITRE VI.

CONCLUSIONS.

Des expériences et des observations que je viens de résumer se déduisent d'elles-mêmes deux sortes de conclusions, les unes expérimentales, les autres théoriques.

I. — *Conclusions expérimentales.*

1° Les instruments que j'ai décrits au Chapitre II de ce résumé donnent au caractère de la conductibilité thermique des applications aussi faciles, aussi exactes et aussi générales que celles fournies par

les axes d'élasticité optique et les lignes d'extinction déterminés à l'aide des microscopes polarisants.

2° Les expériences démontrent cette loi que : *Dans les cristaux et dans les corps à structure pseudo-cristalline, tels que les roches schisteuses, la direction de plus grande conductibilité thermique est celle de plus grande cohésion, de plus grande élasticité sonore, de plus grande résistance à la flexion.*

Cette loi est suivie par les matières cristallisées, à très peu d'exceptions près. Elle ne rencontre, à ma connaissance, aucune exception dans les roches à structure schisteuse.

II. — *Conclusions théoriques.*

Les conclusions théoriques s'appuient sur cette hypothèse que, dans les corps dont la structure n'est pas isotrope, mais reste homogène, tels que les cristaux et les roches à structure schisteuse, les variations de cohésion suivent le même sens que celles des densités linéaires ou, encore, sont inverses des variations des intervalles moléculaires.

Elles permettent d'énoncer la loi précédente sous une autre forme : *Dans les corps à structure homogène, la direction de plus grande conductibilité thermique est celle de plus grande densité linéaire ou du plus petit paramètre, lorsqu'il s'agit des cristaux.*

Les critiques faites à ce dernier énoncé sont fondées sur les expériences que Senarmont a faites en comprimant des plaques de verre ou de quartz percées entre les mâchoires parallèles d'un étau; les courbes isothermes sont devenues dans le verre très légèrement et dans le quartz un peu plus elliptiques. L'augmentation de densité diminuerait donc la conductibilité calorifique. Ce fait serait explicable dans les milieux à équilibre forcé; car on conçoit que, au fur et à mesure que les molécules se rapprochent, les forces répulsives de réaction puissent augmenter, c'est-à-dire diminuer la cohésion. Mais les expériences telles qu'elles ont été faites par Senarmont sont-elles concluantes?

Je ne le crois pas, car la plaque comprimée se bombe; sa surface devient convexe, est distendue de sorte que les molécules peuvent ne pas être rapprochées les unes des autres.

On ne saurait dire aujourd'hui ce qui se passe dans les milieux à équilibre forcé, puisqu'on ne peut pas encore affirmer qu'une compression donne lieu à un rapprochement des molécules. Cette question importante, que mes nouveaux instruments pourront aider à résoudre, n'intéresse d'ailleurs ni les cristaux ni les roches schisteuses, qui sont dans un état d'équilibre stable.

Bibliographie relative à ces recherches.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, année 1872, t. LXXIV, p. 940, 1082, 1501 (*Sur les anneaux colorés produits dans le gypse par la pression et sur leur connexion avec l'ellipsoïde des conductibilités thermiques et avec les clivages*).

Même publication, t. LXXVIII, 1874, p. 413 (*Sur l'emploi d'un prisme biréfringent pour la détermination des ellipses*).

Même tome, p. 1202 (*Sur la propagation de la chaleur dans les roches schisteuses*).

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. LXXXII, p. 839 (*Sur les anneaux colorés produits par pression dans le gypse et sur leurs connexions avec les coefficients d'élasticité*).

Annales de Chimie et de Physique, 4e série, t. XXIX, p. 5 (*Mémoire sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés*). (Thèse soutenue devant la Faculté des Sciences de Paris le 4 mars 1873.)

Bulletin de la Société géologique de France, 3e série, t. I, p. 117 (*Sur la conductibilité des corps cristallisés pour la chaleur et sur la conductibilité des couches du globe pour le son*).

Même tome, p. 252 (*Sur les propriétés thermiques des cristaux*).

Tome II, p. 264 (*Sur la propagation de la chaleur dans les roches à texture schisteuse*).

Tome III, p. 499 (*De la propagation de la chaleur dans les corps; de ses relations : 1° avec la structure des minéraux; 2° avec le métamorphisme des roches. En appendice : Description de l'ellipsomètre, avec une planche représentant cet appareil.*)

Tome IV, p. 1 (*Sur l'analyse minéralogique de quelques roches de la Haute-*

Savoie et sur leurs propriétés thermiques; 2° sur les applications des propriétés thermiques à la Cristallographie).

Même tome, p. 553 (*Sur la conductibilité thermique dans certaines roches rendues artificiellement schisteuses, etc.*).

Tome V (*Relations entre la propagation de la chaleur et l'élasticité sonore dans les roches et dans les corps cristallisés*).

Tome IX (*Mémoire sur les connexions de la propagation de la chaleur dans les roches avec leurs différents clivages et avec les mouvements du sol qui les ont produits*).

Bulletin de la Société minéralogique de France, t. I, p. 19 (*Sur un appareil à conductibilité thermique*).

Tome VII, p. 169 (*Sur l'équation des courbes isothermiques*).

Tome XV, p. 133 (*Sur la propagation de la chaleur; nouvelles recherches*).

Tome XV, séance du 10 novembre 1892 (*Nouvel ellipsomètre*).

SECONDE PARTIE.

ÉTUDES CRISTALLOGRAPHIQUES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES SUR LES ESPÈCES MINÉRALES.

Recherches sur certaines anomalies optiques présentées par des cristaux du système cubique ou régulier.

Bulletin de la Société chimique de Paris, 1870, p. 3 (Sur la variation de la forme dans les aluns).

Bulletin de la Société française de Minéralogie, t. II, p. 124 (Sur les colorations du diamant dans la lumière polarisée). Même tome, p. 191 (Sur les phénomènes optiques de l'alun comprimé).

On sait qu'un assez grand nombre de cristaux du système cubique taillés en lames minces montrent, dans la lumière polarisée, des phénomènes de coloration que la théorie ne peut expliquer que de deux manières différentes. D'après une première opinion, développée avec éclat par M. Mallard, le cristal est en réalité composé de cristaux d'un système anisotrope, groupés de façon que leur enveloppe extérieure ait géométriquement le facies d'une des formes du système cubique; l'analyse optique d'un grand nombre de cristaux à propriétés anomales paraît, dans la plupart des cas, donner raison à cette théorie. Mais il y a des substances bien régulièrement cristallisées auxquelles cette explication ne me semble pas convenir.

Brewster, qui n'ignorait pas ces anomalies, avait émis une opinion différente : c'est que certains diamants, par exemple, doivent l'action exercée çà et là par quelques parties de leur masse sur la lumière polarisée à une tension produite par des gaz renfermés dans les régions actives. J'ai repris cette question; j'ai examiné optiquement un grand nombre de diamants. J'ai vu qu'un grand nombre agissent en effet, mais seulement en des points où ils présentent des taches. L'aire de cette action, à forme souvent rectangulaire, est en général très restreinte dans les cristaux, dont la masse presque tout entière est com-

plètement dépourvue de toute propriété analogue à celle des cristaux biréfringents. J'en ai observé jusqu'ici un seul qui s'illuminait entièrement dans la lumière polarisée; mais il était jaune et composé de fibres courbes qui se croisaient dans toutes les directions. Je crois donc pouvoir me ranger à l'opinion de Brewster pour l'explication des anomalies dans le diamant.

D'autres substances, qu'on manie plus facilement à cause de leur abondante fabrication, les aluns de potasse ou d'ammoniaque, offrent des phénomènes optiques analogues, mais bien plus saisissants. On trouve en effet ces aluns en cristaux parfaitement octaédriques, très limpides, qui n'ont aucune action sur la lumière polarisée. Dans quelques autres aussi régulièrement cristallisés, lorsqu'on les taille parallèlement à une face du cube et qu'on les interpose entre deux nicols croisés, on distingue quatre secteurs colorés deux à deux des mêmes couleurs (secteurs opposés) ou de couleurs complémentaires (secteurs adjacents). J'ai fait cristalliser de l'alun de potasse dans un siphon d'eau de Seltz, c'est-à-dire dans de l'eau chargée d'acide carbonique à 12 atmosphères de pression. La dissolution s'est opérée pendant l'été. L'hiver suivant, qui était celui des grands froids de 1879 à 1880, j'ai retiré du flacon un magnifique octaèdre formé d'une masse limpide et d'un noyau fissuré, qui emprisonnait de l'acide carbonique. Le cristal taillé convenablement présente les quatre secteurs que j'ai indiqués plus haut. Il ne me paraît pas douteux que le gaz renfermé dans le cristal soit la cause de son action sur la lumière polarisée. Je crois donc pouvoir donner du fait une explication différente de celle que M. Mallard applique en général à tous ces cas d'anomalie. Suivant moi, les particules intégrantes du cristal, ou, si l'on aime mieux, les nœuds de son réseau ont la symétrie propre au système cubique; mais les plans dont l'ensemble constitue le cristal ne sont pas restés rigoureusement parallèles pendant l'accroissement. La division du cristal en quatre secteurs qui brillent deux à deux de couleurs complémentaires me paraît en rapport avec les différences que présente l'attaque d'un cristal d'alun par les acides. J'appuie cette opinion sur des recherches qui ont été commencées par Beudant, et que j'ai continuées. L'alun de potasse qui, dans les acides, cristallise en octaèdres réguliers, montre, lorsqu'il est déposé par l'acide chlorhydrique, les facettes du dodé-

caèdre pentagonal, c'est-à-dire l'hémiédrie à faces parallèles. Telle était l'observation de Beudant. J'ai constaté que, si, au lieu de faire cristalliser l'alun dans l'acide chlorhydrique, on expose à l'action érosive de cet acide un cristal déjà formé, cet acide opère de vraies troncatures sur les arêtes des cristaux, et les facettes ainsi développées par érosion sont encore celles de l'hémiédrie à faces parallèles. Or on sait que l'acide fluorhydrique fait apparaître par une érosion analogue des facettes plagièdres sur les cristaux de quartz, lors même qu'ils n'en présentent pas par eux-mêmes avant l'attaque de l'acide. Mais les cristaux de quartz dépourvus de facettes plagièdres sont tout aussi dissymétriques que ceux qui en possèdent. J'ai donc cru pouvoir dire, dès cette époque, que l'acide chlorhydrique ne changeait pas la symétrie propre aux cristaux d'alun, qu'il jouait simplement vis-à-vis de ces cristaux, comme l'acide fluorhydrique vis-à-vis du quartz, le rôle d'agent révélateur de la dissymétrie interne de la structure cristalline; que l'*alun est hémiédrique*, quoique ses cristaux ne montrent pas l'hémiédrie, ce qu'on observe également dans la plupart des cristaux de quartz. Cela posé, si l'on exerce une pression intérieure, elle ne produira pas les mêmes effets sur deux arêtes adjacentes des faces du cube : de là les anomalies optiques.

Biot avait proposé aussi une explication de cette anomalie des aluns dans son grand Mémoire sur la polarisation lamellaire; mais sa théorie avait paru défectueuse, au moins incomplète en certains points. J'espère que, modifiée comme je viens de l'expliquer, elle est devenue satisfaisante.

Sur un nouveau type de cristaux idiocyclophanes.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. LXXIV, p. 663; 1872.

A des recherches optiques se rattachent encore mes observations sur les portions d'anneaux colorés qu'on voit dans les cristaux d'axinite, lorsqu'on les regarde dans la direction d'un axe optique. Haidinger y avait vu le premier des houppes qu'il a signalées dans plusieurs autres cristaux biréfringents colorés. J'ai, pour la première fois, signalé dans l'axinite l'existence simultanée d'arcs concentriques également colorés.

J'ai pensé qu'on pourrait les expliquer en supposant que la matière colorante de l'axinite est elle-même cristallisée, et qu'elle apporte son contingent dans le phénomène. Occupé depuis d'autres sujets, j'ai dû laisser provisoirement de côté cette dernière question, qui a été l'objet d'une intéressante discussion, et qui a été expliquée de différentes manières par MM. Bertin, Em. Bertrand, Friedel et Mallard.

Sur les phénomènes optiques de la pyromorphite et de la mimétite.

Note sur les phénomènes optiques de la pyromorphite et de la mimétite (Bull. Soc. Min., t. IV, p. 39). — Sur les relations des phénomènes optiques et de la composition chimique dans la pyromorphite et dans la mimétite, même tome, p. 196 (en collaboration avec M. Léopold Michel).

Au moment où M. Em. Bertrand, examinant un grand nombre de minéraux à l'aide de son microscope qui permet l'application de la lumière convergente à de forts grossissements, signalait deux axes optiques dans la mimétite (chloro-arséniate de plomb), je faisais la même observation dans plusieurs variétés. J'avais vu comme lui que les pyromorphites pures sont à un axe, et les mimétites également pures à deux axes. Dans un échantillon de mimétite très bien cristallisée, de Johanngeorgenstadt, l'écartement des axes n'était que de 39°. Depuis cette époque, M. L. Michel et moi, nous avons comparé la composition chimique de beaucoup de pyromorphites (chlorophosphates de plomb) ou de mimétites (chloroarséniates de plomb) à leurs caractères optiques. Les pyromorphites pures sont bien réellement à un axe; mais quelques-unes paraissent à deux axes, à cause de groupements. J'avais déjà observé un fait du même genre dans la cassitérite (oxyde d'étain), reproduite artificiellement par M. Daubrée. Dans cette espèce, deux cristaux à un axe se groupent suivant un plan de jonction oblique par rapport à l'axe de chacun d'eux, et le groupe prend l'apparence d'un cristal unique à deux axes. Des faits analogues se présentent dans certains échantillons de pyromorphite. Deux ou plusieurs cristaux se groupent sans rester parallèles, et l'axe apparent du groupe n'est parallèle en réalité à aucun des axes des éléments du groupe. Aussi des plaques taillées perpendiculairement à cet axe géométrique, mais non pas optique, montrent-elles des anneaux colorés à contours

déformés, des croix noires à branches disloquées. On observe, en résumé, quatre divisions au point de vue optique dans ce groupe, formé par les chloro-phosphate et arséniate de plomb naturels : 1° des cristaux hexagonaux de pyromorphites pures à un axe optique; 2° des cristaux hexagonaux de mimétites pures biaxes optiquement; 3° des cristaux ayant la même forme géométrique, mais composés d'un mélange assez intime de chloro-phosphate et de chloro-arséniate, pour que les anneaux colorés soient en quelque sorte intermédiaires entre les anneaux circulaires et ceux à forme de lemniscates (celle-ci douteuse); 4° enfin, les cristaux formés de pyromorphite au centre et de mimétite sur les bords, groupement qui a été signalé pour la première fois par M. Bertrand.

Sur l'origine des couleurs et sur les modifications que leur font éprouver l'action de la lumière et l'état de l'atmosphère dans les substances minérales.

Dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XXIV, p. 682, j'ai publié des observations sur quelques minéraux de l'Inde, et en particulier sur la nature de leur coloration. Dans une autre Note (t. XXIX), j'ai montré comment la coloration bleue ou violacée des fluorines bicolores de Cornouailles s'évanouit à une certaine température assez peu élevée, mais reparaît après refroidissement si la matière n'a pas été trop chauffée. Cette lumière appelée *épipolique*, et dont MM. Stokes et Edm. Becquerel attribuent l'origine à un phénomène de phosphorescence, devient invisible par les temps de brouillards, où l'on n'aperçoit plus dans la fluorine que la couleur de la lumière réfractée.

J'ai présenté dans ce travail un résumé des actions décolorantes que les changements de température opèrent dans les minéraux; plusieurs de ces observations n'avaient pas encore été mentionnées à cette époque.

J'ai étudié aussi l'action des rayons des différentes couleurs sur l'altération des minéraux. De ces premiers essais il résulte qu'il suffit d'enfermer sous des verres rouges le réalgar, pour en assurer la conservation.

J'ai recherché enfin les causes de la coloration de l'émeraude. Cette pierre doit bien sa couleur verte à un oxyde de chrome, mais la nuance d'un noir de velours qui se mêle à la coloration verte, dans les plus belles variétés, me paraît due à des particules anthraciteuses ou bitumineuses intimement mélangées.

Note pour servir à l'étude des roches de la Nouvelle-Calédonie.

Bulletin de la Société géologique de France, 2e série, t. XXIV, p. 451.

A la suite d'une importante Communication de M. Jules Garnier sur les roches et les minéraux qu'il avait découverts dans la Nouvelle-Calédonie, j'ai entrepris quelques études minéralogiques sur ces diverses matières, schistes cristallisés, porphyres feldspathiques, sur les roches à enstatites (lherzolite et dunite), sur les schistes à actinote bleuâtre (glaucophane).

On sait que M. J. Garnier a signalé à la Nouvelle-Calédonie des gisements importants de l'hydrosilicate de magnésie et de nickel, appelé maintenant *garniérite;* il a reconnu la part que l'auteur de cette Notice a prise dans ces déterminations.

Sur une roche talqueuse de la Nouvelle-Calédonie.

Même publication, 3e série, t. IV. p. 449.

Détermination de la conductibilité calorifique et de la composition chimique.

Sur l'analyse minéralogique de quelques roches de la Haute-Savoie.

Même publication, 3e série, t. IV, p. 416.

J'ai donné la composition chimique et l'analyse optique de plusieurs roches schisteuses dont j'avais déterminé la conductibilité calorifique : schiste triasique des bains de Saint-Gervais, du schiste houiller de Valorsine, etc.

Sur la paragonite schistofibreuse de Changé (Mayenne).

Même publication, 3e série, t. X, p. 396.

Cette matière, qui forme une bande pincée entre le carbonifère supérieur et le dévonien à Changé (Mayenne), avait été regardée par Blavier comme une stéatite quartzeuse. Les caractères physiques sont en effet ceux des matières talqueuses; mais l'analyse chimique y accuse des traces seulement de magnésie.

La partie la plus pure de cette roche est formée de silice, 47,2; alumine, 37,7; soude, 6,4; potasse, 3,6; eau, 5,2 (total, 100,1). C'est une variété de paragonite dont la formule est voisine de

$$(SiO^2)^2Al^2O^3(K^2O, Na^2O, H^2O).$$

Optiquement, j'y ai reconnu les caractères des substances orthorhombiques.

Sur la beauxite de la Guyane française.

Bulletin de la Société minéralogique de France, t. I, p. 70.

J'ai analysé plusieurs échantillons de cette matière provenant des alluvions de la crique Boulanger, une des petites baies de la rivière Comté, près Cayenne. C'est un mélange d'hydrate d'alumine (gibbsite) et de sesquioxyde de fer, tantôt anhydre et tantôt hydraté, formant des masses de forme irrégulière, en partie compacte, en partie concrétionnée, de texture souvent pisolithique. M. Stanislas Meunier avait déjà signalé l'existence de la beauxite dans cette contrée.

Sur les roches cristallisées de la Guyane française et sur le gisement primitif de l'or de cette contrée.

Bulletin de la Société géologique de France, 2e série, t. XXIV, p. 684.

L'auteur fait ressortir l'analogie des terrains d'une partie de la Guyane française et des provinces de Maranhas et de Minas-Geraës (Brésil). On y observe une succession de gneiss, de micaschistes et

de talcschistes qui prennent fréquemment l'aspect des itacolumites de la province de Minas-Geraës.

Il signale les staurotides dans les micaschistes et itacolumites de la rivière des Cascades; les staurotides des sables aurifères de l'Arataye rattachent donc les alluvions de cette rivière aux micaschistes et, d'autre part, l'abondance de masses de limonite de la Guyane (roches à ravets) fait soupçonner qu'il existe dans cette région des gisements d'itabirite non explorés. On sait qu'au Brésil l'itabirite et l'itacolumite elle même renferment assez souvent de petites quantités d'or entre leurs feuillets.

Sur les minéraux et les roches recueillis dans l'Alaska et les îles Aléoutiennes par M. A. Pinard.

Même publication, 3e série, t. II, p. 122.

J'ai déterminé la nature des roches de ces îles, trachytes, grès feldspathique, et signalé, parmi les minerais qu'on y trouve, le mispickel, l'or natif, le lignite jayet, la chalcopyrite, l'argyrose, etc.

Sur un clinochlore du Japon.

Même publication, t. XXV, p. 290.

Cet échantillon, rapporté du Japon, offre au milieu d'une roche noirâtre une rosace blanche, de 5^{mm} de diamètre, ayant au centre un hexagone d'un blanc verdâtre, à éclat vif, entouré d'un anneau polygonal formé par la roche. Autour de ce dernier rayonnent six fragments de secteurs à forme d'hexagones allongés. Le toucher onctueux de la poussière de la matière cristallisée, les axes optiques assez écartés qu'on peut y observer au microscope d'Amici indiquent un clinochlore dont le mélange régulier avec la roche qui le renferme rappelle les groupements réguliers de chiastolite ou andalousite et du schiste argileux qui les contient.

Sur la formation du silex cacholong dans les silex de Champigny.

Même publication, 2e série, t. XXV, p. 838.

Parmi les bancs siliceux irréguliers de silex alternes avec des lits de calcaire siliceux, à Bry-sur-Marne, près Champigny, j'ai rencontré des fragments criblés de cavités qui étaient remplies d'une matière presque pulvérulente, formée de silice soluble dans la lessive de potasse. A l'air sec, cette poudre perd son eau; elle devient friable extérieurement; mais elle se condense au contraire, à la longue, à l'intérieur, en une masse solide, blanchâtre, à peine translucide, semblable à ce qu'on appelle *cacholong*. A-t-elle été déposée pulvérulente, ou n'est-ce pas plutôt une désagrégation du silex? Nous penchons pour cette dernière opinion.

Sur les minerais de fer pisolithiques des environs de Paris.

Même publication, t. XXVIII, p. 197.

Aux environs de Rochefort, en allant de ce village vers Limours (Seine-et-Oise), à la Bâte, au gué d'Aune, on rencontre des exploitations d'argile plastique. Sous la glaise de la Bâte, j'ai observé des nodules d'ocre jaune souvent ronds comme des billes, creux ou pleins et analogues à beaucoup de minerais de fer pisolithiques.

J'ai aussi étudié les globules pisolithiques de fer carbonaté disséminés dans les argiles d'Issy et de Vanves. Ils sont formés d'une croûte qui est composée de limonite et de fer carbonaté terreux et qui entoure un noyau de fer oligiste.

Sur l'existence de la néphéline dans les blocs d'oligoclase ponceux, à Denise, près le Puy (en collaboration avec M. Des Cloizeaux).

Bulletin de la Société française de Minéralogie, t. V, p. 320.

M. Des Cloizeaux a observé que les blocs de substance blanche empâtés dans le basalte de Denise, près le Puy (Haute-Loire), malgré

leur analogie, se distinguent en deux variétés : l'une à facies altére, où se reconnaissent du quartz, quelques grains de cordiérite et des fragments clivables d'orthose et d'oligoclase; l'autre à structure analogue à la ponce, présentant les caractères optiques de la néphéline ou de l'élæolite; j'ai pu, après des triages minutieux, confirmer ces prévisions par l'analyse chimique. Les nodules ponceux ont pour élément principal la néphéline, qui paraît enfermée dans de l'oligoclase.

Sur le pyroxène vert des mines diamantifères du Cap.

Même publication, t. V, p. 281.

Le pyroxène d'un beau vert des mines du Cap, où M. Des Cloizeaux a observé les caractères optiques d'un diopside, en a aussi la composition. La coloration verte en est due à 2,8 pour 100 d'oxyde de chrome.

Sur un sulfate de cuivre et de cobalt hydraté trichroïque $CuOSO^3 + 2(CoOSO^3) + 21H^2O$.

Même publication, t. VI, p. 2.

En étudiant le sulfate double de cuivre et de cobalt obtenu par M. Étard, j'ai constaté qu'il appartenait au système asymétrique.

Sur des pierres taillées en statuettes, etc., du haut Mexique (en collaboration avec M. L. Michel).

Même publication, t. VI, p. 34.

M. Hamy nous a confié la détermination d'objets en pierre travaillés par les anciennes peuplades du Mexique.

La matière première de deux de ces échantillons provenant de Oaxaca est fibreuse et présente les caractères chimiques et optiques d'une serpentine.

Un troisième échantillon de Teotihuacan a la composition chimique, la densité et les caractères optiques d'une variété d'albite.

Sur la buratite du Laurium.

Même publication, t. VIII, p. 43.

J'y ai trouvé 15,45 acide carbonique; 14,75 eau; 18,07 protoxyde de fer; 50,45 oxyde de zinc; 0,50 résidu (total, 99,22).

Les houppes soyeuses de cette matière sont formées de fibres qui s'éteignent obliquement à leur longueur en lumière polarisée.

Note sur la chrysocole de Boléo (Californie).

Même publication, t. IX, p. 211.

A Boléo la chrysocole accompagne un oxyde de manganèse qui donne lieu à un dégagement de chlore, quand on le traite par l'acide chlorhydrique. Elle est intimement mélangée à de l'opale et conserve d'ailleurs elle-même sa composition chimique ordinaire :

$$CuOSiO^2 + 2H^2O.$$

Au microscope, en lumière polarisée parallèle, elle a une structure sphérolithique; elle forme des courbes emboîtées les unes dans les autres et offre perpendiculairement aux couches des fibrilles extrêmement ténues, qui s'éteignent parallèlement à leur longueur. La manière dont le mica quart d'onde y fait monter le ton des couleurs montre que ces fibres doivent être optiquement négatives. J'ai retrouvé ces caractères dans les chrysocoles de Sibérie et du Chili.

Analyse chimique et optique de l'uranite de Madagascar.

Bulletin de la Société minéralogique, t. IX, p. 47.

Ayant eu à ma disposition un petit échantillon de cette matière, rapportée de Madagascar par M. Grandidier, j'en ai soumis un fragment à l'analyse et j'ai pu y constater la composition

$$3(U^2O^2, Fe, Ca)OP^2O^5 + 12H^2O.$$

Les caractères optiques y sont les mêmes que dans l'autunite ou uranite d'Autun (Saône-et-Loire); système cristallin orthorhombique et bissectrice aiguë négative, perpendiculaire au plan de clivage facile.

Sur un nouveau gisement de schéelite.

Même publication, t. IX, p. 39 (en collaboration avec M. Goguel).

Cette matière offre la composition chimique, la densité, les clivages et tous les caractères de la schéelite ou tungstate de chaux. Elle provient de Saint-Lary, vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées).

Sur la génite des Pyrénées.

Même publication, t. XI, p. 206.

C'est une roche exploitée comme marbre dur à Génost, vallée de Louron (Hautes-Pyrénées). Elle a une structure schisteuse et paraît se relier aux schistes ardoisiers verts de Génost.

La couleur en est d'un rouge lie de vin irrégulièrement veiné de blanc pur et de vert clair assez vif.

Le fond rouge de la roche est formé d'un schiste siliceux et ferrifère; les veines verdâtres contiennent un peu de chlorite et les blanches sont composées de : carbonate de chaux 31,3; carbonate de magnésie 5,93; carbonate de fer 8,02 et silice 54,7; celles-ci ont pour densité 2,7 et ne sont pas rayées par la pointe d'un burin; cette belle roche a été appelée *génite*.

Sur la pharmacolite de Sainte-Marie-aux-Mines (Alsace-Lorraine).

Même publication, t. XI, p. 212.

En dosant les acides, les bases et l'eau, j'ai trouvé que cette matière a la composition

$$2(CaO)As^2O^5, 6H^2O.$$

Sur la wernérite du Chili.

Même publication, t. XII, p. 445.

J'ai analysé des gros blocs provenant des environs du filon cuprifère de la mine Llanca, district La Higuera, département de Coquimbo; ils ont la densité, la forme et les clivages prismatiques, ainsi que les caractères chimiques et optiques du dipyre de Pouzac; on doit donc les rapporter au groupe des wernérites.

Sur la dioptase du Congo français.

Même publication, t. XIII, p. 159.

Dans les minéraux rapportés de cette région par M. Thollon, j'ai rencontré des dioptases associées au quartz et à la chrysocole.

Les échantillons que j'ai eus entre les mains ne m'ont pas permis une étude cristallographique aussi complète que j'aurais voulu de ces échantillons, qui offraient d'ailleurs les formes de la dioptase de Sibérie, signalées pour la première fois par M. Des Cloizeaux dans les fragments rapportés du Gabon. Mais j'ai pu m'assurer que les caractères optiques de ces cristaux doivent les faire rapporter au système rhomboédrique et non au système orthorhombique, comme il a été dit depuis. Sur les lamelles obtenues par clivages parallèlement aux faces du rhomboèdre primitif, on observe déjà latéralement, en lumière polarisée convergente, les courbes isochromatiques caractéristiques des cristaux optiquement uniaxes et, sur des lames taillées perpendiculairement à cet axe dans les cristaux limpides, le doute n'est pas possible. La dislocation de la croix noire tient évidemment dans les échantillons qui la présentent à un groupement et ce sont au contraire les cristaux simples qui présentent les phénomènes optiques les plus symétriques.

Sur l'argent natif du Congo français.

Même publication, t. XIV, p. 65.

L'auteur a observé sur certains points des échantillons de dioptase des petits cristaux d'argent natif et, comme l'a fait remarquer M. Des Cloizeaux, c'est la première fois qu'on a signalé de l'argent natif dans les minéraux de cette contrée.

Sur la turquoise dite de nouvelle roche.

Bull. Soc. min., t. XIII, p. 106.

Les analyses chimiques et optiques montrent que la couleur bleue de ces pierres est bien due au phosphate de fer, qui se colore de plus en plus avec le temps.

Sur le feldspath orthose des basaltes de Royat.

Même publication, t. XIII, p. 372.

L'auteur a étudié un grand nombre des échantillons de ce feldspath qu'il a recueillis à Royat. Il y a reconnu tous les caractères chimiques et optiques de l'orthose, malgré les dérangements souvent irréguliers de leurs éléments constituants. La disposition y est horizontale et l'angle des axes assez petit.

Sur l'historique du blanchiment du diamant.

Même publication, t. XIV, p. 65.

L'auteur établit que ce procédé de blanchiment du diamant au moyen d'aniline, expliqué par Chevreul, était déjà pratiqué au XVII[e] siècle en Orient.

Sur le talc de Madagascar.

Même publication, même tome, p. 66.

Un des très curieux échantillons rapportés de Madagascar par M. Catat est une jolie pseudomorphose d'actinote transformée en talc, comme le montrent la composition chimique et les caractères optiques.

Sur d'autres matières minérales de Madagascar.

Loco citato.

Les échantillons obtenus par M. Grandidier, à l'Exposition de 1889, pour le Muséum, se composent de zircons et de saphirs, dont la couleur et les formes rappellent complètement celles des pierres de même composition qu'on recueille dans le gisement célèbre d'Expailly (Haute-Loire).

Sur la matière colorante des calcaires noirs des Pyrénées.

Même publication, t. XV, p. 101.

Les calcaires noirs des Pyrénées doivent leur couleur à une variété de carbone, que ses caractères physiques et chimiques doivent faire regarder comme de l'anthracite.

Sur le grenat pyrénéite.

Même publication, même tome, p. 127.

Le grenat noir des environs de Barèges est coloré, comme le calcaire qui le renferme, par de l'anthracite. Ce grenat n'est pas un grossulaire pur ni une mélanite simple : c'est un grenat complexe : sa densité le rapproche des mélanites.

Sur le calcaire noir renfermant les émeraudes de Muso (Nouvelle-Grenade).

Même publication, même tome, p. 131.

Les calcaires noirs qui renferment les belles émeraudes de Muso sont, comme ceux des Pyrénées, colorés par de l'anthracite.

(*Voir* Note précédente : *Sur l'origine des couleurs dans les substances minérales*.)

Sur un diamant à facies d'argent natif.

Même publication, même tome (novembre 1892).

M. Louis Taub a donné au Muséum un diamant octaédrique pesant plus de 5gr, ayant en moyenne 1cm,5 de hauteur, dont les sommets portent des sortes de petites colonnettes et dont les faces sont comme chagrinées, laissant apercevoir les pointements d'une foule de très petits cristaux alignés sur leurs plans.

Chacun de ces petits cristaux, renvoyant à l'observateur toute la lumière qu'il reçoit de l'espace, prend un éclat métallique et la masse ressemble au premier abord à de l'argent natif.

Sur un diamant du Cap.

Même publication, t. VIII, p. 42.

On peut en rapprocher un diamant du Cap, que j'ai figuré au Tome VII du *Bulletin* désigné ci-dessus. Cette pierre a la forme d'un hexatétraèdre surbaissé, dont les angles sont coiffés de petits cristaux en pyramides un peu informes.

Sur la lanarkite (sulfate bibasique de plomb) de l'Ariége.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences. t. LXXVI, p. 1420.

Comme celle de l'Écosse, analysée par M. Pisani, la lanarkite de Laquorre (Ariège) est un sulfate bibasique de plomb. La dispersion in-

clinée, les angles de ses faces naturelles ou obtenues par clivage montrent aussi que cette matière appartient bien à la même espèce que celle de Leadhills.

Note sur l'emploi du bisulfate de potasse comme agent révélateur de la galène dans ses mélanges. — Action du bisulfate de potasse sur les monosulfures.

Même publication.

J'ai observé que le bisulfate de potasse ($K^2O, H^2O)2SO^3$ cristallisé, broyé dans un mortier avec de la galène PbS, donne immédiatement lieu à la formation d'hydrogène sulfuré en très grande abondance. L'action du bisulfate, encore très vive sur le monosulfure de fer, sur l'alabandine (monosulfure de manganèse) l'est déjà très peu sur la pyrite magnétique (Fe^7S^8) et devient nulle sur les sesquisulfures, à plus forte raison sur les bisulfures.

Sur les observations de M. Spring, relatives à l'influence de la pression sur les combinaisons et les cristallisations.

Bulletin de la Société chimique de Paris, t. XL et XLI; 1884.

J'ai pu répéter les expériences de M. Spring avec des appareils que la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée a bien voulu mettre à ma disposition; j'ai constaté que la pression seule est incapable de produire les combinaisons des corps réduits en poudre et mélangés ensemble; on avait déjà reconnu que la transformation de la tourbe en houille, annoncée par M. Spring, ne se réalise pas dans les conditions où il opérait; la pression peut bien déterminer la combinaison de $\frac{1}{100}$ environ de fer et de soufre en poudre mélangés dans la proportion de leurs poids atomiques; mais cela s'explique par la haute température développée par la pression, qui, dans les conditions des expériences, se répartit irrégulièrement dans le mélange. On sait, en effet, qu'il s'y forme un cône de pression autour duquel la température devient très élevée, si lentement qu'on agisse. A la suite de mes premières observations, M. Spring a, du reste, reconnu que les

combinaisons ne s'effectuent qu'en très petites proportions du premier coup.

Quant aux cristallisations obtenues par M. Spring, je n'ai pu les reproduire. Toutes les substances pulvérulentes ainsi comprimées à des pressions qui pouvaient atteindre 8000^{atm}, n'ont formé que des agrégats qui 1° sont friables, lorsque les éléments sont résistants (le marbre et la plupart des matières cristallines pulvérisées) et qui 2° sont assez consistants, et prennent une structure schisteuse, lorsque leurs éléments sont plastiques et s'écrasent facilement (talc, argile plastique, argent, cuivre).

M. Le Chatelier vient d'ailleurs de démontrer par de belles expériences (*Bulletin de la Société minéralogique*, t. XV, séance du 10 novembre 1892) que la compression ne peut que hâter les combinaisons, et qu'elle ne peut les réaliser sans l'action de la température.

PRINCIPAUX OUVRAGES DE VULGARISATION.

Le chalumeau.

Analyses qualitatives et quantitatives, guide pratique, 262 pages et Tableaux; 1876.

Le but de ce Traité était essentiellement de vulgariser les procédés d'analyse par la voie sèche, qui fournissent souvent aux minéralogistes une connaissance immédiate des échantillons qu'ils rencontrent et qui leur évitent plus souvent encore des analyses complètes, lorsqu'ils veulent vérifier les déterminations tirées des autres propriétés.

Les roches.

1re édition. Description de leurs éléments. Méthode de détermination, 285 pages; 1874.
2e édition. Description de leurs éléments. Analyse. Structure. Gisements. Emplois. 480 pages, avec 215 gravures, planches, cartes (1884).

Dans cette dernière édition, j'ai d'abord exposé sans calculs les propriétés géométriques des cristaux, la théorie des phénomènes physiques; j'ai montré ensuite l'application de ces connaissances à l'étude des espèces minérales qui entrent dans la composition des roches; puis j'ai donné la description de ces roches elles-mêmes.

Enfin j'ai résumé, dans cet Ouvrage, toutes les observations micrographiques déjà très nombreuses à cette époque. La seconde édition étant également épuisée, une troisième est en voie de publication.

Diamant et pierres précieuses, par Jannettaz, Émile Vanderheym, Fontenay, Coutance.

Cristallographie. Description. Emplois. Évaluation.

Grand in-8°, 580 pages; 1881.

L'auteur de cette Notice s'est réservé dans cet Ouvrage toute la partie scientifique, concernant la nomenclature et la description de toutes les

pierres précieuses et de leurs variétés, ainsi que l'exposé des caractères qui peuvent servir à leur détermination, sans qu'il soit nécessaire d'en faire l'analyse, ou même de les altérer. Cette partie est le résumé de leçons faites par l'auteur au Muséum, à titre de suppléant de M. Delafosse, en 1873, 1874 et 1875.

Cours de Cristallographie.

Ce Cours autographié est une des parties de celui que je professe depuis vingt ans à la Faculté des Sciences comme maître de Conférences.

Il comprend la description de tous les genres de formes que l'on peut observer dans les systèmes cristallins, la théorie des zones, la construction des projections stéréographiques et une série d'exemples de calculs.

TABLE DES MATIÈRES.

SECONDE PARTIE.

ÉTUDES CRISTALLOGRAPHIQUES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES SUR LES ESPÈCES MINÉRALES.

PRINCIPAUX OUVRAGES DE VULGARISATION.

19133 Paris. — Imprimerie Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55.
J, 8